...e costruisci il tuo LABORATORIO DIGITALE

6,90 €

40

HARDWARE

DIGITALE DI BASE

MICROCONTROLLER

DIGITALE AVANZATO

TOTALMENTE PROGRAMMABILE!!!

9 771824 363008 41040

Peruzzo & C.

IN REGALO in questo fascicolo

4 Pulsanti di plastica
1 Fila di 5 pulsanti di silicone
3 Viti

IN REGALO nel prossimo fascicolo

1 Scheda DG11r1
4 LED rossi
2 Connettori da c.s. diritti 2x4 vie
1 Connettore da c.s. a 90° a 2 vie
4 Resistenze da 820 Ohm 5% 1/4 W
4 Ponticelli isolati neri
2 Viti

COME RACCOGLIERE E SUDDIVIDERE L'OPERA NELLE 4 SEZIONI

L'Opera è composta da 4 sezioni identificabili dalle fasce colorate, come indicato sotto. Le schede di ciascun fascicolo andranno suddivise nelle sezioni indicate e raccolte nell'apposito raccoglitore, che troverai presto in edicola. Per il momento, ti consigliamo di suddividere le sezioni in altrettante cartellette, in attesa di poterle collocare nel raccoglitore. A prima vista, alcuni numeri di pagina ti potranno sembrare ripetuti o sbagliati. Non è così: ciascuno fa parte di sezioni differenti e rispecchia l'ordine secondo cui raccogliere le schede.
Per eventuali domande di tipo tecnico scrivere al seguente indirizzo e-mail: elettronicadigitale@microrobots.it

Hardware Montaggio e prove del laboratorio

Digitale di base Esercizi con i circuiti digitali

Digitale avanzato Esercizi con i circuiti sequenziali

Microcontroller Esercizi con i microcontroller

Direttore responsabile:
ALBERTO PERUZZO
Direttore Grandi Opere:
GIORGIO VERCELLINI
Consulenza tecnica e traduzioni:
CONSULCOMP S.n.c.
Pianificazione tecnica
LEONARDO PITTON

Direzione, Redazione, Amministrazione: viale Ercole Marelli 165, Tel. 02/242021, 20099 Sesto San Giovanni (Mi). Pubblicazione settimanale. Registrazione del Tribunale di Monza n. 1738 del 26/05/2004. Spedizione in abbonamento postale gr. II/70; autorizzazione delle Poste di Milano n. 163464 del 13/2/1963. Stampa: Grafiche Porpora s.r.l., Cernusco S/N (MI). Distribuzione SO.DI.P. S.p.A., Cinisello Balsamo (MI).

© 2004 F&G EDITORES, S.A.
© 2005 PERUZZO & C. s.r.l. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, archiviata su sistema recuperabile o trasmessa, in ogni forma e con ogni mezzo, in mancanza di autorizzazione scritta della casa editrice. La casa editrice si riserva la facoltà di modificare il prezzo di copertina nel corso della pubblicazione, se costretta da mutate condizioni di mercato.

"ELETTRONICA DIGITALE"
si compone di
70 fascicoli settimanali
da suddividere
in 2 raccoglitori.

RICHIESTA DI NUMERI ARRETRATI. Per ulteriori informazioni, telefonare dal lunedì al venerdì ore 9.30-12.30 all'ufficio arretrati tel. 02/242021. Se vi mancano dei fascicoli o dei raccoglitori per completare l'opera, e non li trovate presso il vostro edicolante, potrete riceverli a domicilio rivolgendovi direttamente alla casa editrice. Basterà compilare e spedire un bollettino di conto corrente postale a PERUZZO & C. s.r.l., Ufficio Arretrati, viale Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (MI). Il nostro numero di c/c postale è 42980201. L'importo da versare sarà pari al prezzo dei fascicoli o dei raccoglitori richiesti, più le spese di spedizione € 3,10 per pacco. Qualora il numero dei fascicoli o dei raccoglitori sia tale da superare il prezzo globale di € 25,82 e non superiore a € 51,65, l'invio avverrà per pacco assicurato e le spese di spedizione ammonteranno a € 6,20. La spesa sarà di € 9,81 da € 51,65 a € 103,29; di € 12,39 da € 103,29 a € 154,94; di € 14,98 da € 154,94 a € 206,58; di € 16,53 da € 206,58 in su. Attenzione: ai fascicoli arretrati, trascorse dodici settimane dalla loro distribuzione in edicola, viene applicato un sovrapprezzo di € 0,52, che andrà pertanto aggiunto all'importo da pagare. Non vengono effettuate spedizioni contrassegno. Gli arretrati di fascicoli e raccoglitori saranno disponibili per un anno dal completamento dell'opera. IMPORTANTE: è assolutamente necessario specificare sul bollettino di c/c postale, nello spazio riservato alla causale del versamento, il titolo dell'opera nonché il numero dei fascicoli e dei raccoglitori che volete ricevere.

Scheda dei pulsanti (II)

Componenti forniti con questo fascicolo.

Tasti di silicone già separati.

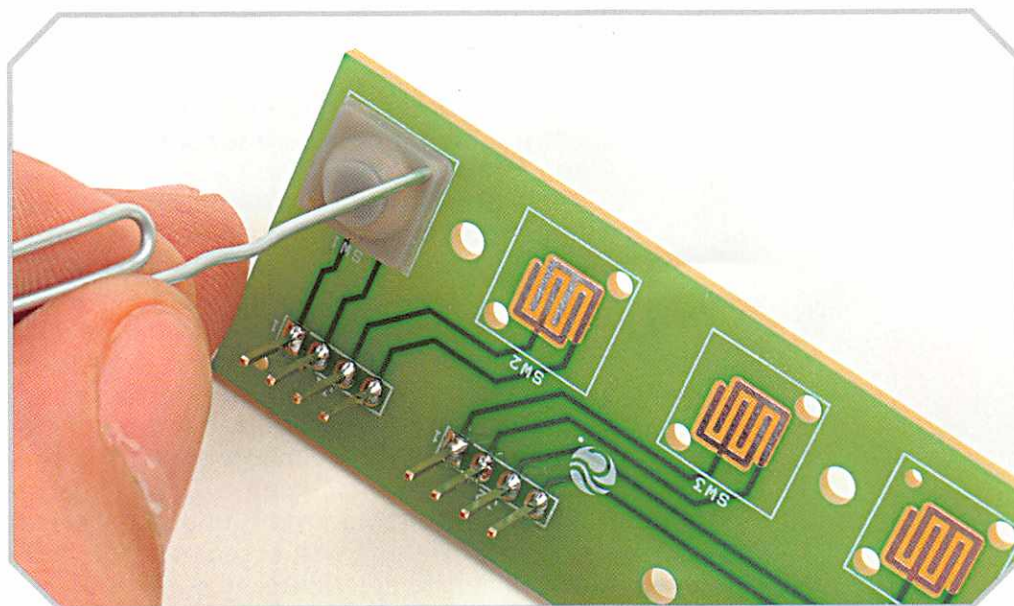
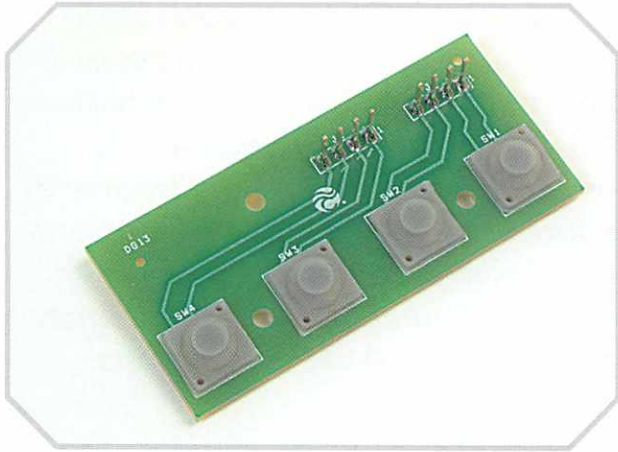
Con questo fascicolo sono stati forniti i componenti necessari per completare il circuito integrato DG13 e montarlo sul laboratorio, cosa che ci permetterà di disporre di quattro pulsanti per la realizzazione degli esercizi, evitando di dover utilizzare collegamenti con fili liberi per realizzare la stessa funzione.

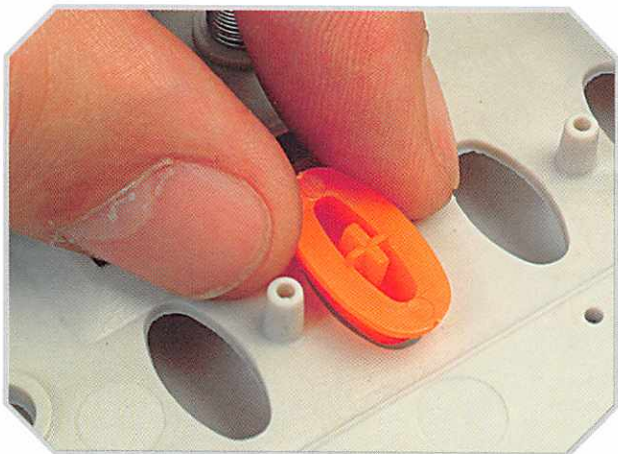
Materiale

Il materiale fornito è composto da cinque tasti di silicone che contengono una zona di contatto nella parte inferiore; per il momento, ne utilizzeremo solamente quattro. Gli attuatori di plastica di colore arancio saranno i "tasti" visibili dal pannello frontale, le tre viti serviranno a fissare questa scheda al pannello principale del laboratorio.

Tasti di silicone

I tasti di silicone generalmente sono forniti uniti fra loro, dovranno quindi essere separati utilizzando delle forbici. Sconsigliamo di separarli tirando le due parti, poiché in questo modo si potrebbero rompere.

Il taglio si realizza sulla linea di separazione

I tasti di silicone si inseriscono con una clip.

Scheda DG13 con i quattro tasti inseriti.

Attuatori separati.

Prima di montare gli attuatori, verificare l'alloggiamento.

fra entrambi i tasti deve essere fatto con molta attenzione per non rovinarli.

Montaggio dei tasti

Dopo averli separati li monteremo sul circuito stampato. Osservando quest'ultimo, vedremo che a lato di ogni tasto, in posizione diametralmente opposta vi sono due fori di circa 2 mm di diametro.

Per contro osservando uno dei tasti potremo vedere le due sporgenze cilindriche dello stesso materiale che fuoriescono dalla parte piana dove si appoggia il tasto, cioè dallo stesso lato del contatto. Questi innesti verranno utilizzati per fissare il tasto nella posizione corretta.

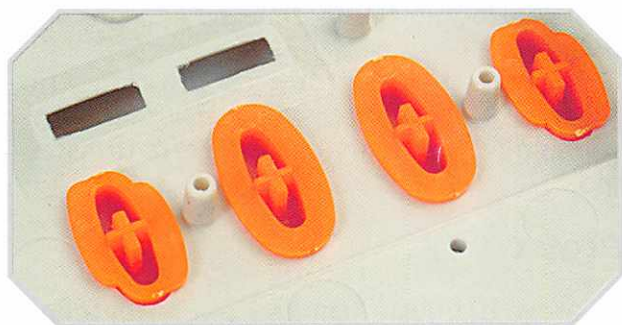
Sono precisamente questi innesti che verranno inseriti nei fori prima citati. Questa operazione si realizza molto facilmente con l'aiuto di un filo di ferro senza punta, ad esempio una semplice clip da ufficio raddrizzata, inserendone la punta nel piccolo tubo di silicone fino a quando il tasto si appoggerà completamente sulla scheda.

Dopo aver montato i quattro tasti sul circuito stampato, quest'ultimo sarà pronto per essere installato sul laboratorio.

Attuatori e regolazione

La parte interna di ogni tasto che abbiamo installato chiude il circuito quando è premuta, però non è azionata direttamente ma tramite uno degli attuatori di colore arancio.

Questi attuatori sono forniti in un blocco da quattro e dovranno essere separati, cosa che si può fare a mano.

Prima di montare il tasto è necessario capovolgere il pannello principale del laboratorio e verificare che i quattro attuatori dei tasti si possano muovere con facilità nel loro alloggiamento e che nessuno di essi rimanga incastrato. Questa situazione non è molto frequente ma potrebbe verificarsi per la presenza di qualche sbavatura sullo stampo, che potrebbe bloccare il movimento dell'attuatore, in qualsiasi caso è facilmente eliminabile attraverso una piccola lima o una lametta, facendo attenzione a non eccedere nella limatura della parte eccedente.

Attuatori installati.

Posizionamento della scheda.

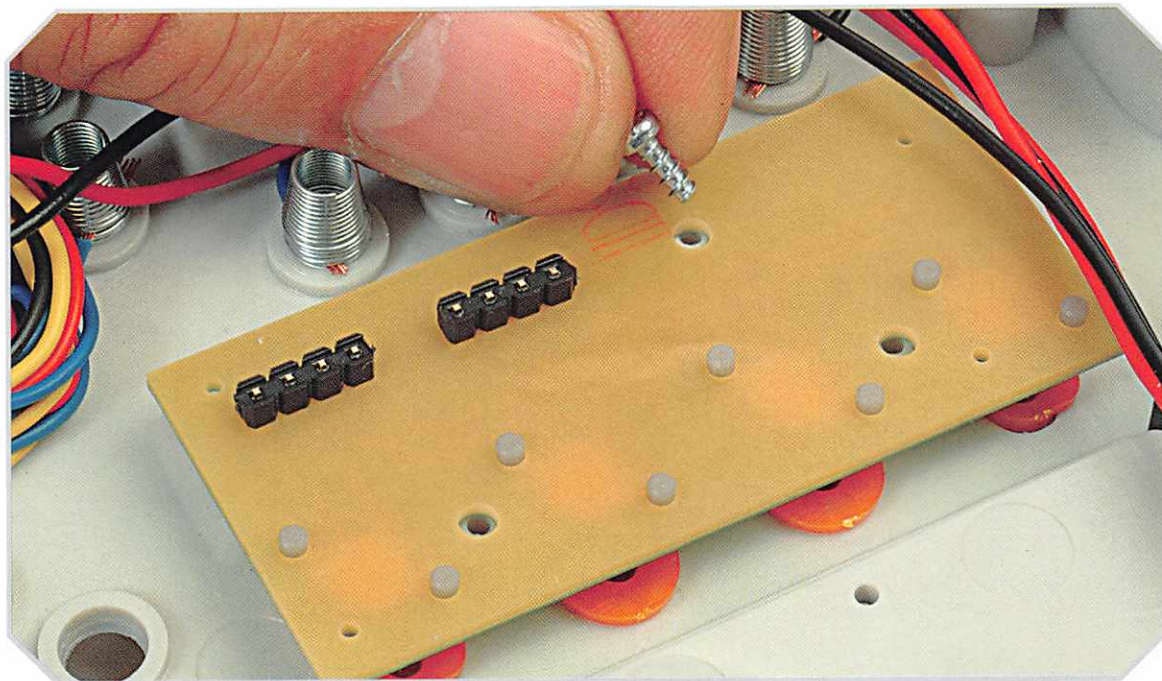
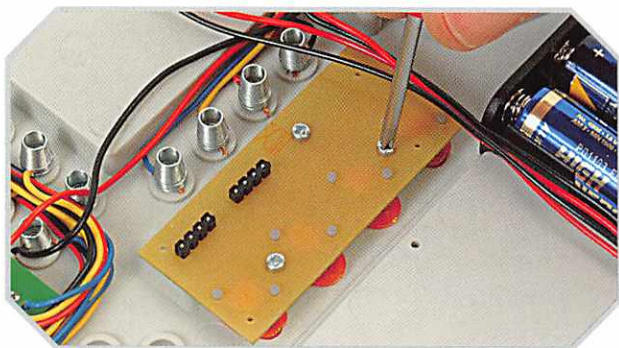
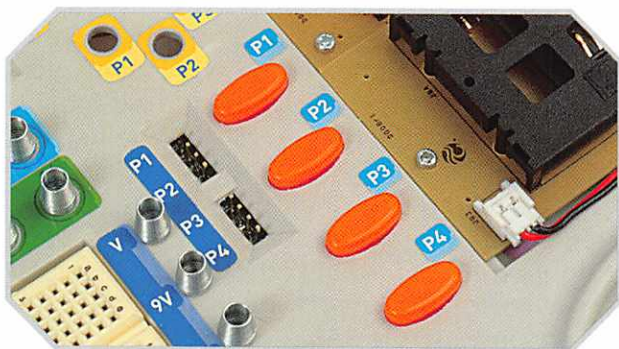
Montaggio degli attuatori

Dopo aver verificato che ogni attuatore funzioni senza bloccarsi dovremo eliminare tutti i resti delle limature e posizioneremo i tasti al loro posto, mantenendo il pannello principale girato al contrario in modo che non cadano. Questi attuatori rimangono liberi, ed è il montaggio della scheda che li manterrà nella loro sede.

Montaggio della scheda

Ora monteremo la scheda DG13 con i tasti girati verso il basso, in modo che ogni tasto di silicone rimanga allineato con il suo attuatore, inoltre i due connettori dovranno fuoriuscire dai fori a loro riservati sul pannello principale.

In realtà si tratta di un'operazione semplice da eseguire, in quanto è sufficiente posizionare ogni foro della scheda allineato con la sua torretta in modo che la scheda rimanga al suo posto installando le tre viti di fissaggio.

Inseriremo le tre viti e le fisseremo senza stringere del tutto, inserendo dalla parte frontale del pannello i due connettori neri di uno dei cavetti a due connettori, per facilita-

Montando le viti si centra la scheda.

Dopo aver centrato la scheda si chiudono le viti.

Aspetto della pulsantiera.

re il centraggio finale della scheda prima di fissarla.

Con questi connettori, così disposti, stringeremo le viti, ma solo con una leggera pressione, per non rovinare le torrette di fissaggio.

Prova

La prova di questa scheda è semplice, tenendo presente che in ogni connettore siglato come P1 P2 o P3 P4 ci sono i collegamenti dei quattro pulsanti ordinati nel modo seguente dall'alto verso il basso P1, P2, P3 e P4.

In altre parole i primi due terminali corrispondono a P1 e gli altri due del connettore a P2, sull'altro connettore i primi due sono quelli di P3 e gli ultimi due di P4.

Potrete approfittare di qualche nuovo montaggio con i LED per realizzare la prova, o ripetere alcuni degli esercizi precedenti in cui erano necessari i pulsanti ed erano stati sostituiti da semplici collegamenti con fili. Si potrà inoltre eseguire direttamente alcuni degli esercizi proposti in questo fascicolo.

Laboratorio con gli elementi disponibili.

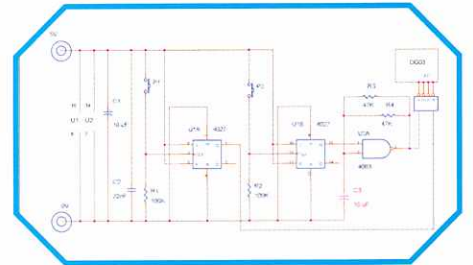
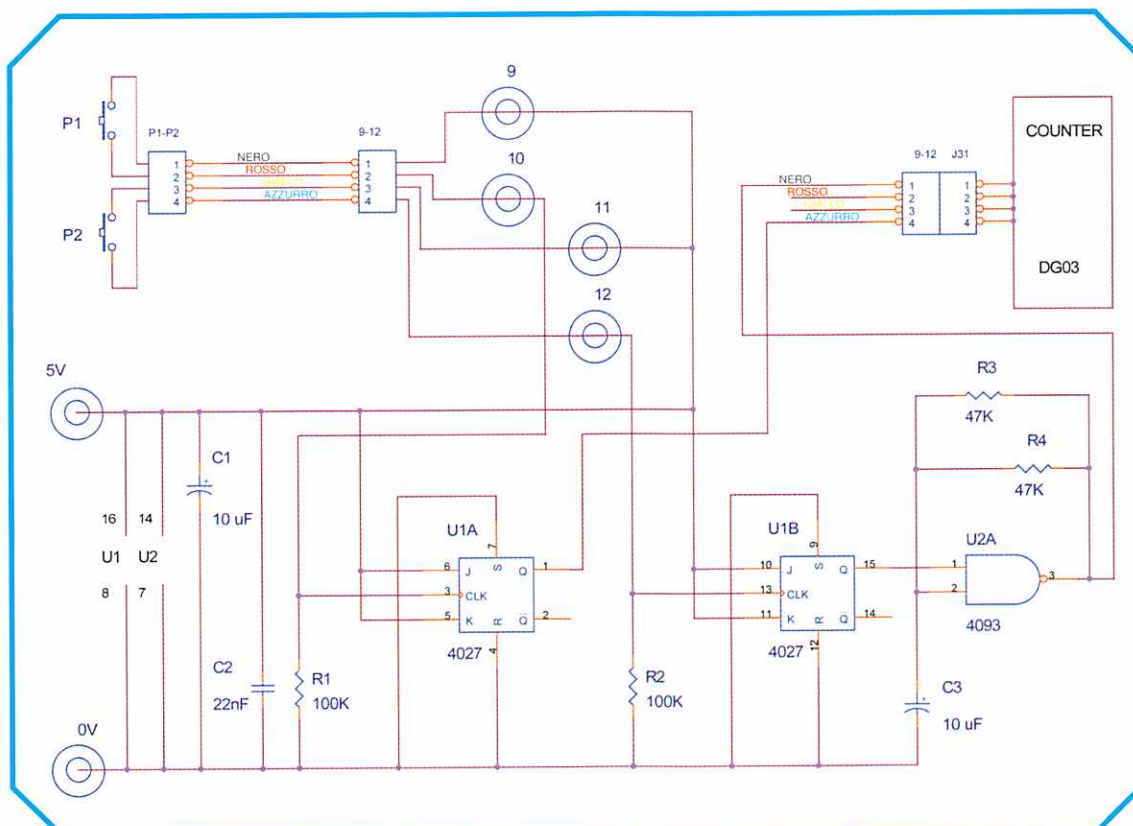
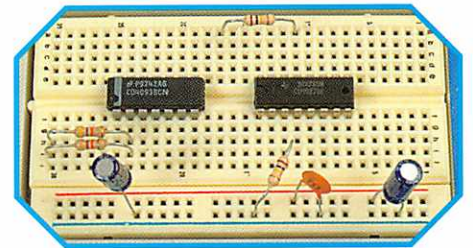
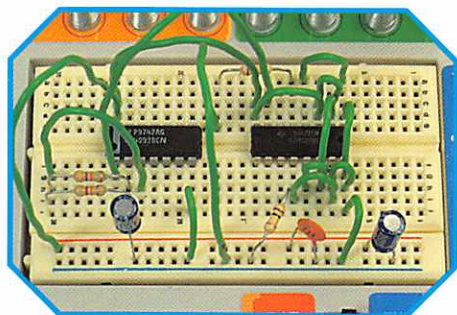
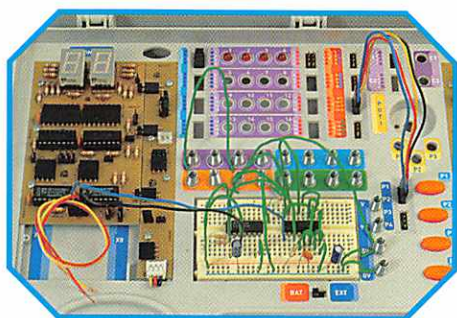
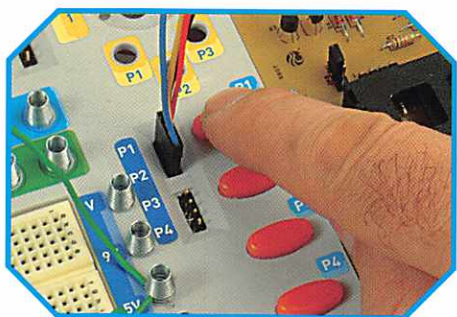
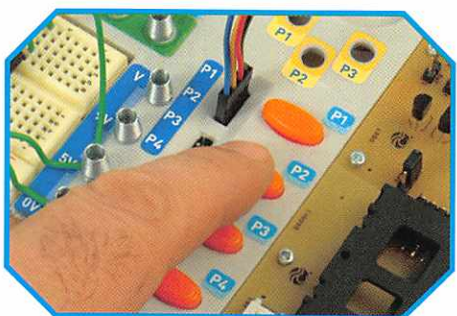
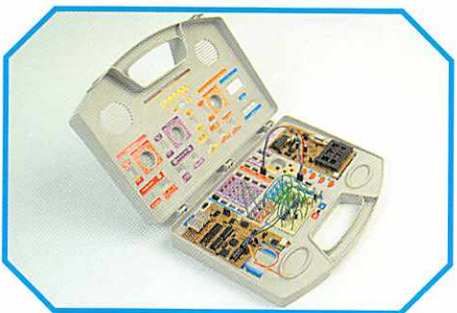
Controllo del contatore

Questo circuito utilizza due bistabili tipo T per memorizzare l'attivazione di due pulsanti. L'uscita di uno di questi circuiti si utilizza per attivare o disattivare il clock che fornisce gli impulsi di clock del contatore. L'altro pulsante, ogni volta che viene premuto, inverte il verso del conteggio del contatore.

Il circuito

Osservando lo schema del circuito possiamo vedere che il pulsante P1 applica un livello alto all'ingresso di clock del circuito U1B, uno dei due bistabili dell'integrato 4027. Ricordate che il segnale necessario al clock è un fronte di salita, cioè un passaggio da livello basso a livello alto. L'uscita di questo bistabile, terminale 1 dell'integrato 4027, si applica al terminale 4 del connettore J31 della scheda dei contatori DG03. Quando questo terminale è a livello 1 il contatore avanza, e quando è a livello 0 il conteggio è decrescente. Ogni volta che si aziona il contatore si inverte lo stato dell'uscita di questo bistabile.

L'altro pulsante P2 si utilizza per applicare

Schema semplificato.

Componenti sulla scheda Bread Board.

Schema generale del circuito di controllo.

Inizio del cablaggio.

Esperimento con tutti i collegamenti.

Premendo P1 si inverte la direzione del conteggio.

Premendo P2 si avvia o si ferma il clock.

Esperimento completato.

gli impulsi all'ingresso di clock dell'altro bistabile – U1B – che è raffigurato anch'esso come bistabile del tipo T, la cui uscita si utilizza per controllare il funzionamento dell'oscillatore, formato dalla porta U2A del circuito integrato 4093. L'uscita di questo oscillatore fornisce gli impulsi di conteggio al contatore. Ogni volta che si preme P2 si ferma o si fa continuare il conteggio del contatore, dato che ferma o mette in funzione l'oscillatore U2A.

I condensatori C1 e C2 filtrano l'alimentazione.

Montaggio

Questo montaggio inizia collocando i componenti sulla scheda Bread Board nell'ordine adeguato e seguendo il collegamento nello schema. I pulsanti P1 e P2 si collegano alle molle dalla 9 alla 12 utilizzando un cavetto a quattro fili terminato su due connettori a quattro vie, che unisce il connettore siglato come P1 P2 e quello siglato da 9 a 16. I collegamenti al connettore J31 della scheda DG03 si realizzano con un cavetto di collegamento terminato su un lato da un connettore e dall'altro con quattro fili senza connettore, dei quali utilizzeremo solamente l'1 e il 4. Inserendo questo cavetto su J31 bisogna verificare di collegare il filo nero al terminale 1 dello stesso.

Prova

Quando si collega l'alimentazione al circuito è possibile che l'uscita dei bistabili prenda un valore casuale.

Ogni volta che si preme P2 si fermerà il conteggio, se il contatore stava contando, o si farà ripartire se era fermo.

Ogni volta che si preme P1 si inverte il senso del conteggio, se era ascendente passerà a discendente e viceversa.

LISTA DEI COMPONENTI

U1	Circuito integrato 4027
R1, R2	Resistenza 100 K (marrone, nero, giallo))
R3, R4	Resistenza 47 K (giallo, viola, arancio)
C1	Condensatore 10 µF elettrolitico
C2	Condensatore 22 nF

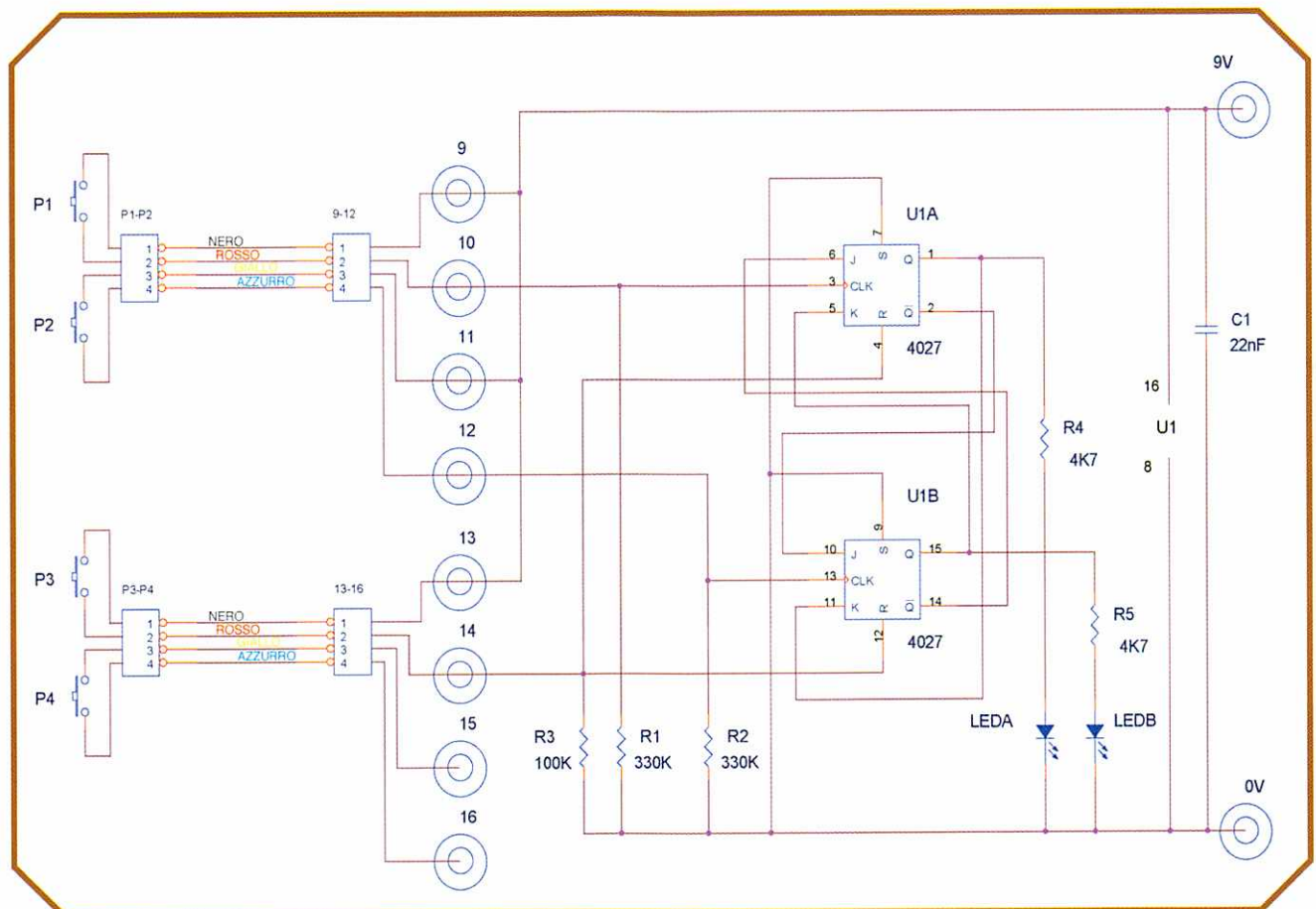
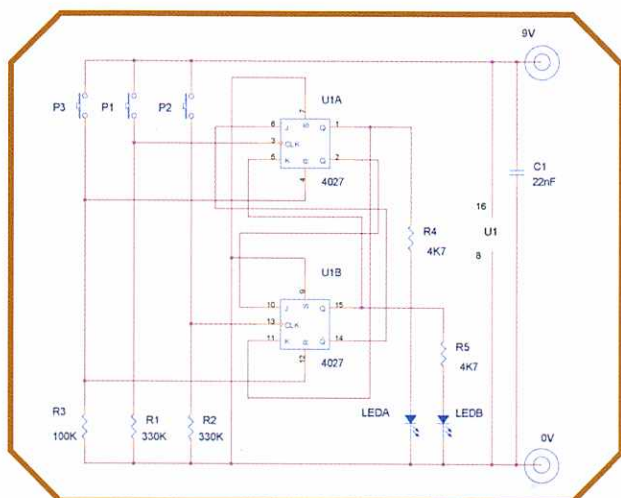
Arbitro elettronico

In molti casi è difficile determinare fra due giocatori chi ha premuto il tasto per primo, tuttavia questo circuito con due pulsanti facilita questo compito, infatti il primo pulsante azionato farà illuminare il LED corrispondente e impedirà che si illumini l'altro, bloccando il circuito di attivazione del LED.

Il circuito

Se osserviamo lo schema vedremo che i due circuiti bistabili JK del circuito integrato 4027 sono collegati in modo che quando uno dei due riceve un segnale di clock, la sua uscita blocca il funzionamento dell'altro bistabile. Ogni pulsante P1 o P2 applica un fronte di salita all'ingresso del bistabile a cui è collegato. Osservando la figura possiamo vedere che i circuiti dei due bistabili sono esattamente uguali fra loro.

Notiamo anche che gli ingressi asimmetrici di entrambi i bistabili sono collegati al negativo dell'alimentazione con una resistenza di pull-down, questo ingresso si può portare a livello 1 premendo P3, ottenendo in questo modo l'azzeramento dell'uscita di entrambi i bistabili.

Il livello di uscita di ogni bistabile, terminali 1

Schema elettrico dell'arbitro elettronico.

Schema elettrico semplificato dell'arbitro elettronico.

Componenti sulla scheda Bread Board.

e 15, è visualizzato quando è a livello alto, con l'accensione del LED A e LED B rispettivamente.

Il condensatore C1 si utilizza come filtro dell'alimentazione.

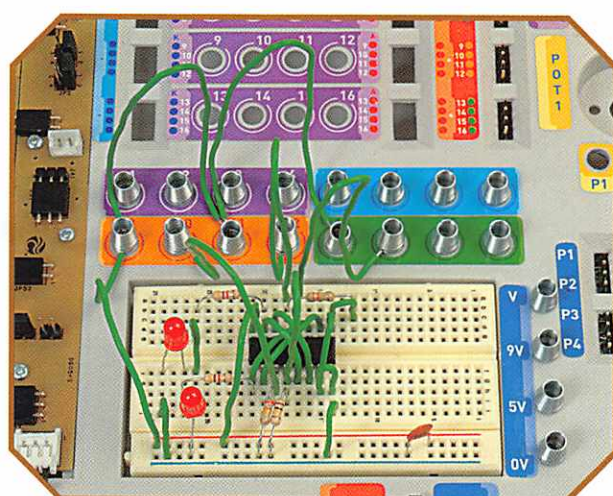
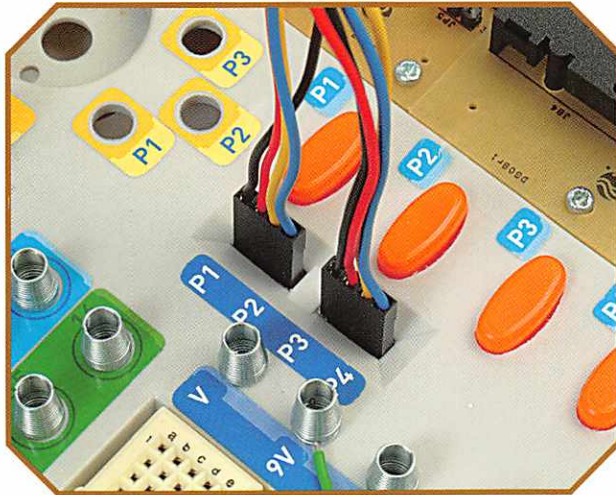
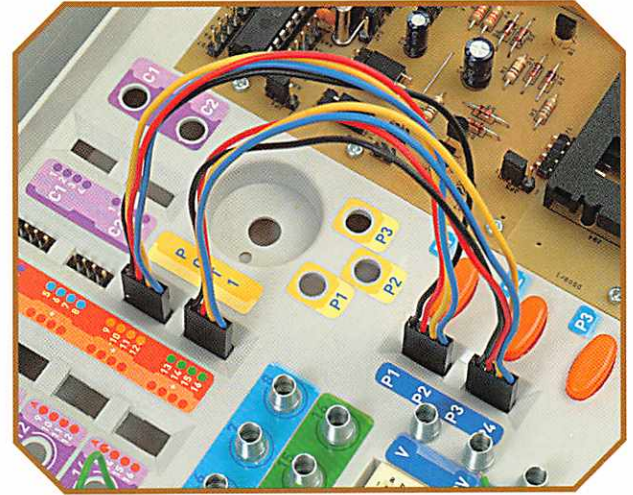
Montaggio

Il montaggio inizia dalla collocazione del circuito integrato 4027 sulla scheda Bread Board e prosegue con gli altri componenti, tenendo presente l'orientamento del circuito integrato e la polarità dei LED. Il cablaggio non è difficile, però è piuttosto impegnativo, quindi è facile sbagliare se si cerca di eseguire il lavoro in fretta: è necessario eseguire attentamente lo schema.

In questo esercizio sono disponibili i quattro pulsanti. I pulsanti P1 e P2 – corrispondenti ai giocatori – si collegano con un cavetto a quattro fili terminato su due connettori. Questo cavetto va inserito sul connettore siglato come P1 P2, situato vicino ai pulsanti, e dall'altro capo al connettore corrispondente alle molle 9 -12. In altre parole il collegamento al pulsante P1 sarà disponibile sulle molle 9 e10 e quello del pulsante P2 sulle molle 11 e 12.

Il terzo pulsante P3, si collega nello stesso modo, utilizzando in questo caso le molle 13 e 14.

Il negativo dell'alimentazione si collega a 0 V e il positivo a 9 o 5 V, tuttavia, que-

Cablaggio interno della scheda.

Collegamenti fra la scheda Bread Board e le molle.

Collegamenti dei cavetti alla scheda dei pulsanti.

I collegamenti dei pulsanti sono portati sulle molle dalla 9 alla 14.

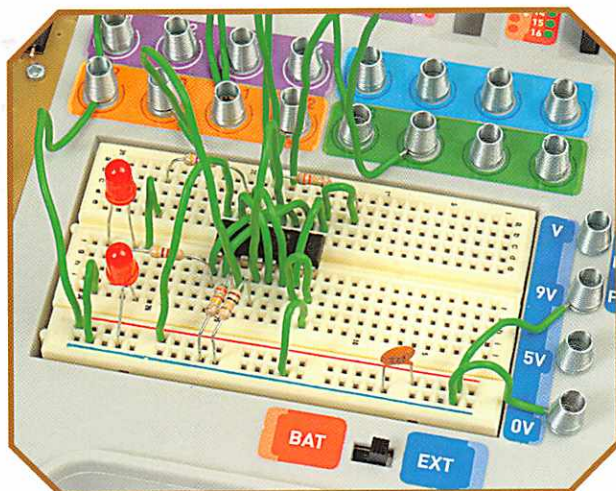
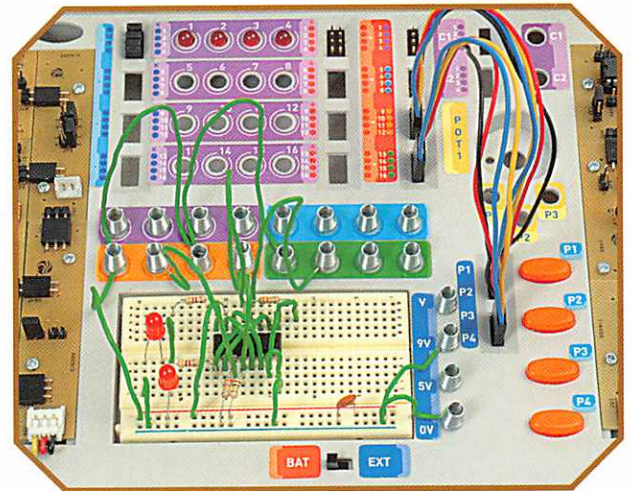
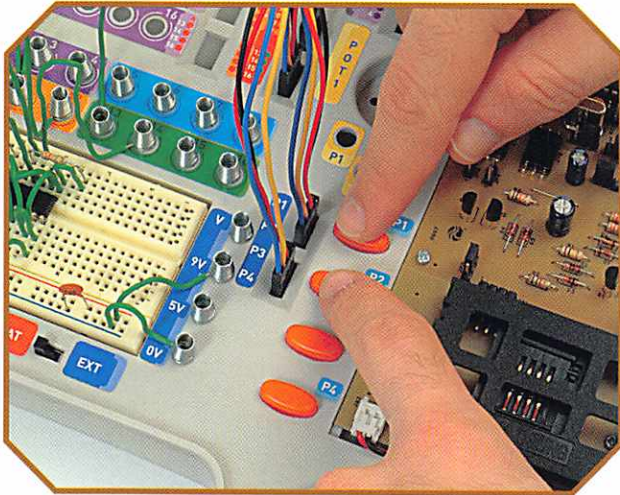
st'ultimo collegamento si deve eseguire solo dopo aver verificato che tutti i componenti occupino il loro posto, e tutti i collegamenti siano stati eseguiti in modo corretto.

Funzionamento

Quando si collega l'alimentazione è possibile che uno dei due LED si illumini, tuttavia il gioco inizia premendo P3, in modo da applicare un RESET a entrambi i bistabili, impostando a 0 le uscite e spegnendo i due LED, a questo punto il circuito è pronto per il gioco.

Prima però facciamo ancora una prova: se premiamo P1, il LED A si illumina, se dopo premiamo P2 dobbiamo verificare che il circuito non abbia risposta a questa seconda pulsazione; cioè il LED A continua a rimanere illuminato.

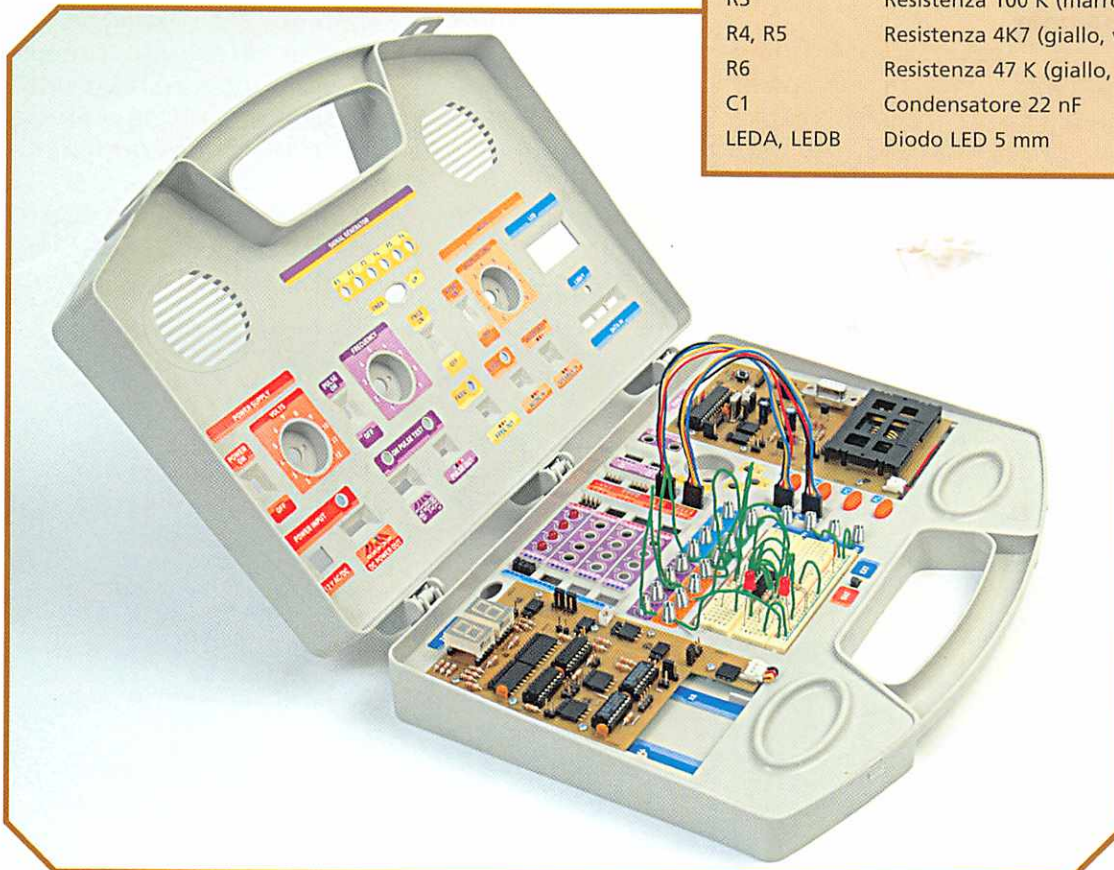
Premendo nuovamente P3 si spegneranno entrambi i LED e se di seguito premeremo P2, il LED B si dovrà illuminare, disattivando P1 in modo che anche se venisse premuto, il LED B continuerà a essere illuminato.

Infine attiveremo P3 per riportare il nostro circuito a essere pronto per la continuazione del gioco.

Grazie al collegamento eseguito con il cavetto a 4 fili possiamo utilizzare i pulsanti sulla scheda Bread Board.

Vista completa del cablaggio.

Anche se si preme contemporaneamente, uno solo sarà il primo.

Premendo P3 si spengono entrambi i LED.

Anche se entrambi i giocatori premeranno contemporaneamente, solo uno risulterà il più veloce, nonostante la differenza potrebbe essere solo di una piccola frazione di secondo.

LISTA DEI COMPONENTI

U1	Circuito integrato 4027
R1, R2	Resistenza 330 K (arancio, arancio, giallo)
R3	Resistenza 100 K (marrone, nero, giallo)
R4, R5	Resistenza 4K7 (giallo, viola, rosso)
R6	Resistenza 47 K (giallo, viola, arancio)
C1	Condensatore 22 nF
LEDA, LEDB	Diodo LED 5 mm

Vista del laboratorio con l'esperimento completato.

Il convertitore A/D del PIC16F870

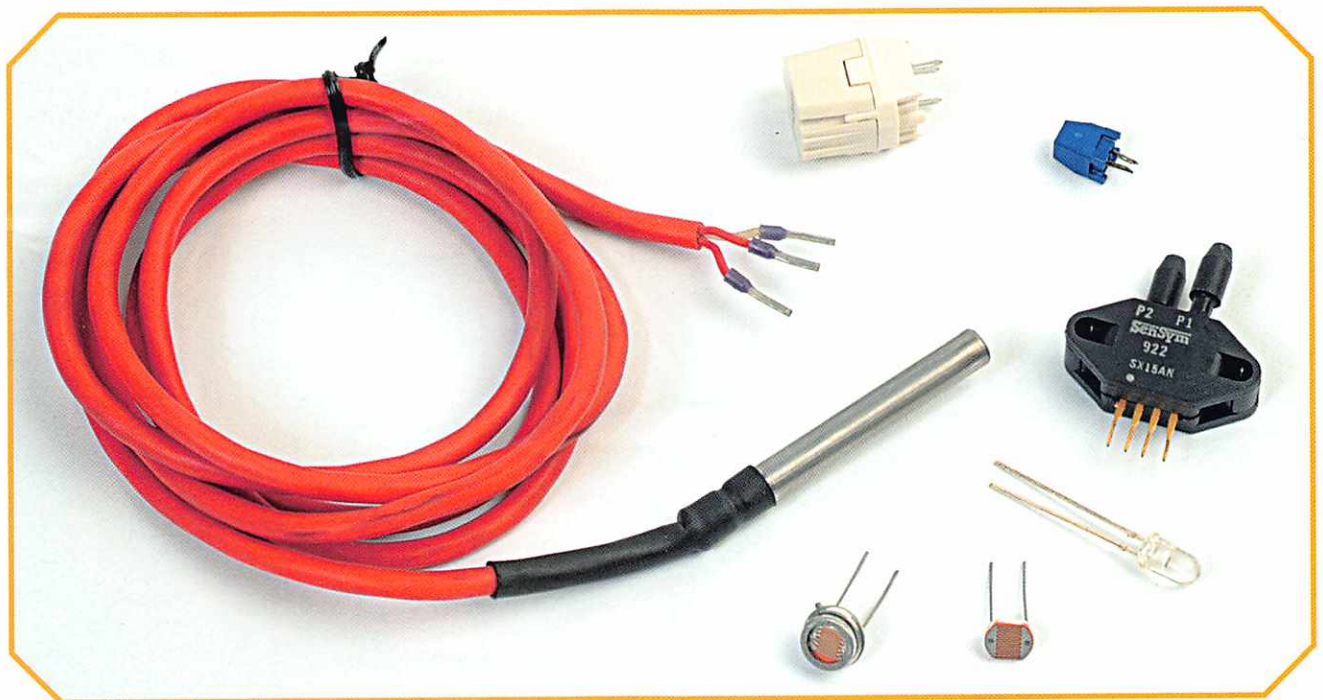
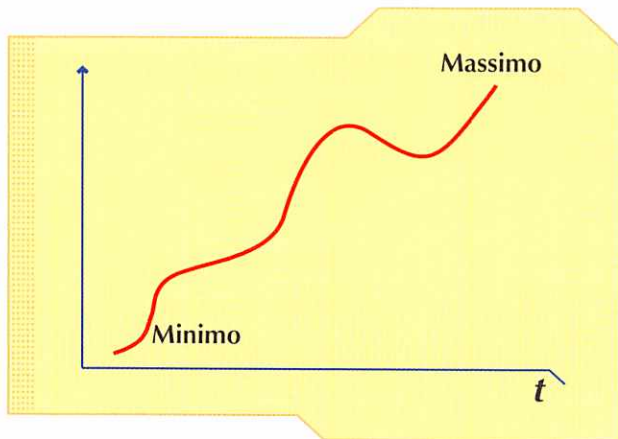
Uno dei dispositivi più importanti e potenti del nostro microcontroller è il convertitore A/D. L'utilizzo di questi convertitori è molto comune in qualsiasi tipo di applicazione, per questo motivo ripasseremo il suo utilizzo e il suo funzionamento.

Convertitori A/D: necessari in mondo digitale

Tutti i microcontroller e i computer in generale lavorano con informazioni digitali. Definiscono qualsiasi grandezza con un insieme di bit che possono avere solamente due valori: 0 e 1. Nel mondo reale però la maggior parte delle informazioni e delle grandezze esistenti sono analogiche, variano fra un minimo e un massimo, passando fra infiniti valori presenti fra questi limiti. Così la temperatura, la velocità, la pressione, ecc. sono grandezze analogiche. La grafica della figura della pagina successiva corrisponde a un tipico segnale analogico che evolve lungo il tempo in modo continuo.

Le nostre macchine basate su computer sono digitali, però l'informazione che riceviamo è analogica. È necessario quindi, convertire l'informazione analogica in formato digitale per la sua elaborazione. Il computer genererà i risultati nello stesso formato digitale.

Se vogliamo che il sistema acquisisca l'informazione di un sensore di temperatura e in funzione di questa generi dei suoni, dobbiamo convertire in digitale il segnale del sensore, in modo che il microcontroller lo possa accettare, processare e generare i risultati, convertendoli successivamente in formato analogico per poterli ascoltare su un altoparlante. Sono necessari un convertitore A/D (Analogico/Digitale) e un altro D/A (Digitale/Analogico).

Vediamo ora alcuni aspetti molto importanti che ci permetteranno di capire bene il funzionamento dei convertitori A/D e D/A.

Sensori che forniscono un valore analogico.

Rappresentazione di una grandezza analogica.

RISOLUZIONE PER BIT

$$\text{Risoluzione} = \frac{((\text{Vref} +) - (\text{Vref} -))}{1024}$$

$$\text{Es: Risoluzione} = \frac{(5-0)}{1024} = 4.8 \text{ mV / bit}$$

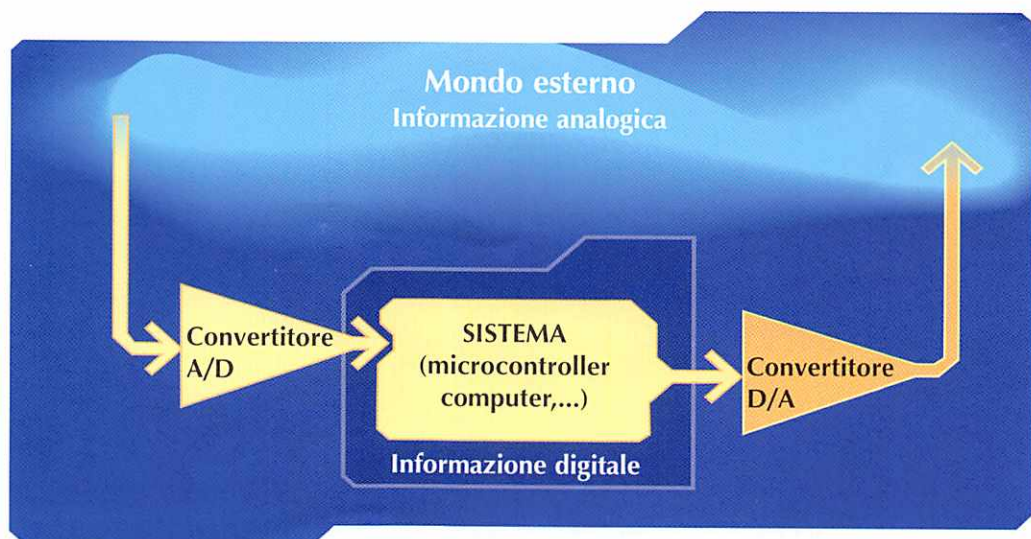
Calcolo della risoluzione per bit.

La risoluzione di un convertitore

A causa della pressante necessità di inserire convertitori nella maggioranza delle applicazioni industriali per la conversione di un segnale analogico in digitale, i modelli della famiglia PIC16F87X presentano un convertitore a 10 bit di risoluzione e 5 canali di ingresso, sui modelli a 28 pin e da 8 canali su quelli da 40 pin.

La risoluzione da 10 pin implica il poter distinguere fra 2^{10} = 1.024 combinazioni, ovvero fra un minimo di 10 zero e un massimo di 10 uno. Con 10 bit di risoluzione il convertitore A/D, lavorando fra una tensione massima e un'altra minima, avrà una risoluzione per bit che sarà la 1.024ª parte del range fra questi limiti. Se lavoriamo fra un range massimo chiamato Vref+, e un altro minimo Vref-, la risoluzione per bit sarà quella indicata nella formula. Nel caso di Vref+ = 5 Vdc e Vref- = 0 V, la risoluzione per bit sarà 4,8 mV/bit, quindi fra ogni due valori digitali successivi avremo una risoluzione da 4,8 mV. Possiamo vedere nella tabella come ogni valore binario avrà un equivalente di tensione, e come fra ogni valore esiste una differenza uguale alla risoluzione.

Struttura e funzionamento di un convertitore A/D

Il convertitore utilizza una tecnica di campionamento e ritenzione, chiamata anche di cattura e mantenimento (S&H: Sample and Hold), che equivale a caricare una capacità con la tensione che dobbiamo misurare. Si campiona un

Utilizzo del convertitore per il trattamento del dato.

VALORE DIGITALE	VALORE ANALOGICO
00 0000 0000	0,0000
00 0000 0001	0,0048
00 0000 0010	0,0096
...	...
...	...
...	...
11 1111 1101	4,9904
11 1111 1110	4,9952
11 1111 1111	5,0000

Equivalenza digitale/analogica con risoluzione da 10 bit, Vref+ = 5V e Vref- = 0 V.

Schema del circuito (Sample and Hold) S&H all'ingresso del convertitore.

segnale analogico in un momento determinato e si mantiene il valore all'interno del condensatore per inviarlo successivamente per essere elaborato dal convertitore.

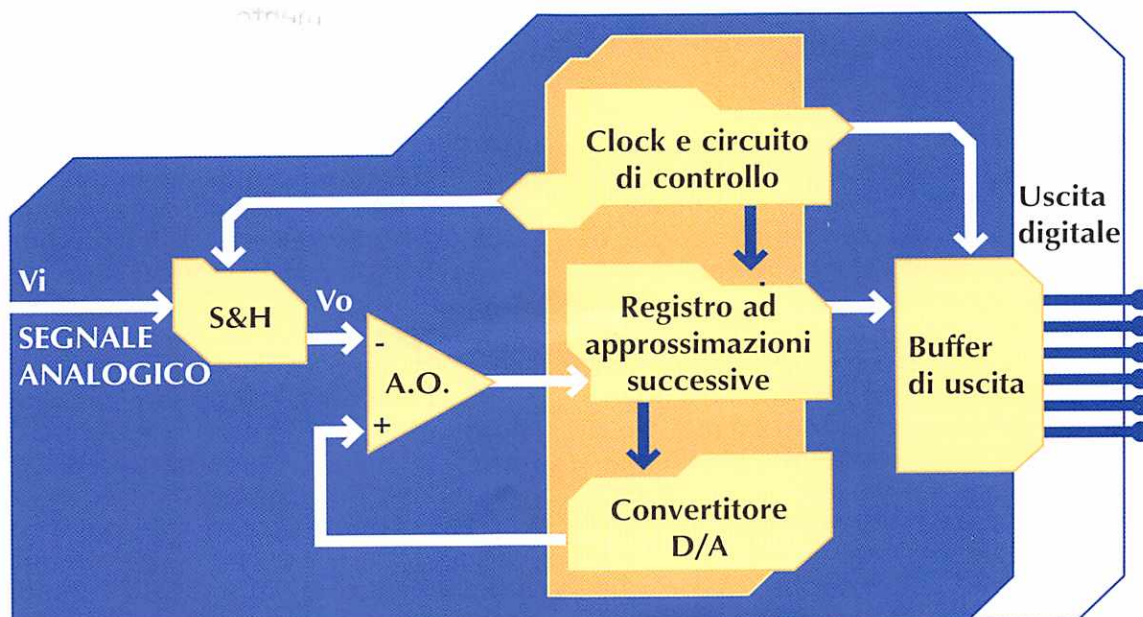
Nella figura in alto a destra è riportato lo schema di un circuito S&H formato da un interruttore che quando si chiude acquisisce un campione, mentre il condensatore mantiene il valore acquisito. Il tempo di campionamento o di presa del dato dipende dalla frequenza di clock del PIC e dalla velocità di conversione desiderata.

Convertitore A/D ad approssimazioni successive

Questo tipo di convertitore è quello di cui dispongono i PIC 16F87X. All'ingresso del circuito troviamo il circuito S&H seguito da un comparatore, la cui funzione consiste nel comparare il segnale analogico d'ingresso con quello che arriva da un convertitore D/A.

In funzione di quale dei due valori è maggiore, si cambia il valore dei bit del registro ad approssimazioni successive, fino a far coincidere entrambi i valori.

Il registro ad approssimazioni successive inizia prendendo il valore medio, quindi si pone a 1 il bit più significativo, lasciando gli altri a 0. Così se il registro è da 5 bit, acquisirà il valore 10000.

Questo valore è trasformato in segnale analogico mediante il convertitore D/A ed è portato sull'ingresso del comparatore. Se Vc>Vo il comparatore passerà a 1 questo farà sì che il registro abbassi il valore contenuto in esso,

Schema del convertitore A/D ad approssimazioni successive.

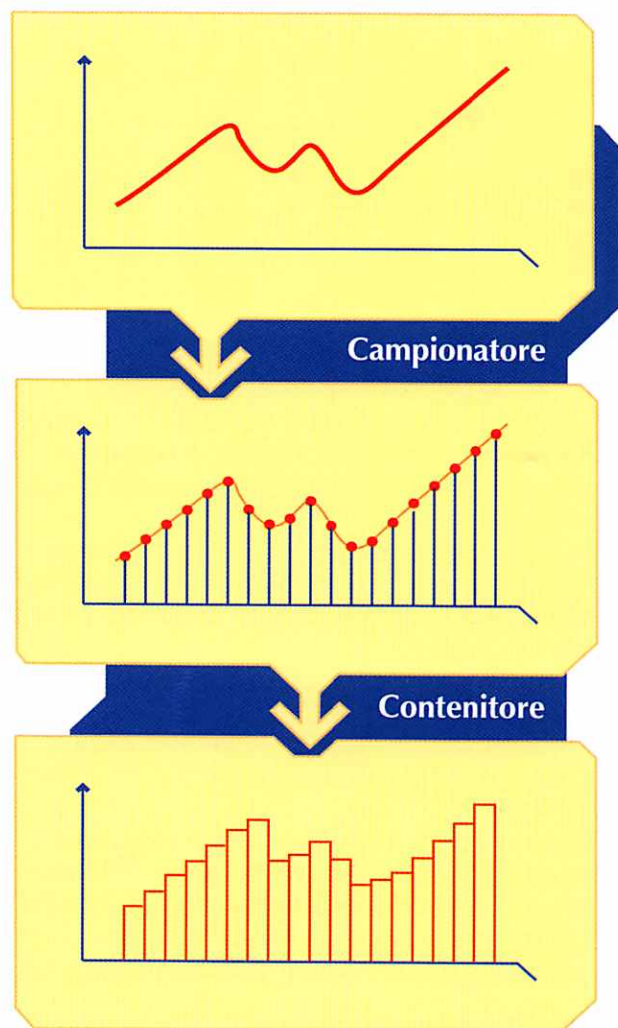
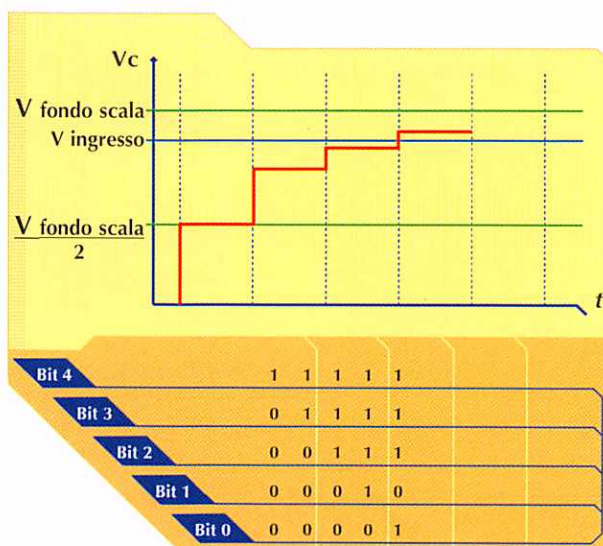



Grafico del funzionamento di un circuito S&H.

quindi il bit più significativo del registro passerà a 0 e verrà impostato a 1 il successivo, ottenendo così 01000. Si converte, si compara, e se ora Vc<Vo l'uscita del comparatore sarà 0, e il registro saprà che il valore che contiene è minore di quello richiesto.

A questo punto il registro eleva il suo valore e imposta a 1 il bit successivo, generando 01100. Si procede in questo modo sino a quando i valori coincidono, e avremo sul registro il valore digitale che corrisponde a quello analogico. Se il valore del registro supera quello di ingresso, si abbassa nuovamente il valore del registro stesso impostando a 0 il bit che è stato impostato a 1 l'ultima volta e passa a 1 il successivo. Se il valore del registro è minore di

Valori che adotta un registro ad approssimazioni successive durante una conversione.

quello dell'ingresso si imposta a 1 il bit successivo che dovrà essere comparato.

Con 5 comparazioni un registro ad approssimazioni successive da 5 bit termina la conversione, quindi possiamo garantire che il tempo della conversione è fisso e non dipende dalla grandezza da convertire.

Nella figura in alto è riportato il campionamento del registro ad approssimazioni successive.

Conclusioni

Dopo aver analizzato e capito il Convertitore Analogico/Digitale dobbiamo studiare come si utilizza all'interno del nostro microcontroller. Come tutti i dispositivi di quest'ultimo, il convertitore lavorerà con una serie di registri che dovremo conoscere per poterli utilizzare correttamente. Sono molte le applicazioni che hanno bisogno dell'utilizzo del convertitore, dato che è molto comune interagire con elementi di natura analogica.

Attualmente molti sensori comprendono al loro interno un sensore per fornire un'uscita digitale che può essere trattata direttamente da qualsiasi processore digitale. A causa del prezzo di questi sensori, che risulta essere elevato, continua a essere di uso comune l'utilizzo di convertitori integrati all'interno del processore.